

## **Опубликовано:**

[Шевченко В.В. Влияние формы лопастей ветроэнергетических установок на их производительность / Сборник тезисов докладов XLIV научно-практической конференции научно-педагогических работников, ученых, аспирантов и сотрудников академии (17-20 декабря 2010 г.), часть 1, секция «Электроэнергетики». – Харьков: УИПА, Энергетический факультет, 2010. - С. 25-26].

**Шевченко В.В.**

### **Влияние формы лопастей ветроэнергетических установок на их производительность**

Ветроэнергетика не может заменить классические электростанции. Более того, на наш взгляд, будущее промышленно развитых стран, все-таки, невозможно без атомной энергетики. Но роль ветроэнергетики в этом случае определяется вполне конкретно: решение локальных задач по энергоснабжению малоэнергоёмких удаленных потребителей, где основная выгода определяется не улучшением потребления, а решением проблемы «доставки» электроэнергии. По некоторым оценкам, к середине будущего века ВЭС, возможно, будут обеспечивать 10 % потребления электроэнергии в мире. Это немного, но сможет решить вопрос энергоснабжения для стран без энергоёмких производств, которые импортируют электроэнергию.

Величина вырабатываемой электроэнергии зависит от каждого элемента, входящего в состав ветроэнергетической установки (ВЭУ). В частности, выбор формы крыла ВЭУ, обеспечивающего максимальное давление потока ветра на лопасти, т.е. максимальное значение подъемной силы и силы тяги. Каждый профиль крыла имеет определенный угол атаки, при котором коэффициент, равный отношению подъемной силы к силе тяги, ( $C_L / C_D$ ), будет максимальным.

Этот угол атаки определяет значение максимальной силы и является, поэтому, самым эффективным критерием настройки поворота лопастей ветротурбины.

Коэффициент тяговой силы (подъема) крыла  $C_D$  может быть рассчитан:

$$C_D = \frac{D}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_b}$$

где:  $D$  - тяговая сила, в Н;  $\rho$  - плотность воздуха, в  $\text{кг/м}^3$ ;

$V$  - скорость воздушного потока, обтекающего крыло, м/с;

$A_b$  - площадь сечения (произведение длины зоны сечения на ширину), в  $\text{м}^2$ ;

Коэффициент подъемной силы крыла ( $C_L$ ) может быть рассчитан

$$C_L = \frac{L}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_b}$$

где  $L$  – подъемная сила крыла, в Н.

На рис. 1 приведены типичные значения коэффициентов подъема и тяги для сечений крыла. Величина подъемной силы и силы тяги пропорциональны величине вырабатываемой электроэнергии. Область практического использования соответ-

ствуется углу атаки только справа от пика в кривой  $C_L$ .

В Украине используется методика расчета мощности ветроагрегатов в зависимости от скорости ветра, построенная на результатах аэродинамических расчетов. Она базируется на импульсной теории, с учетом турбулентного следа и концевых потерь по Прандтлю. Тогда мощность определяется как

$$N = \omega \cdot M, \text{ Вт}$$

где  $M = \frac{\pi \rho}{2} \cdot C_m(z, \varphi_i) \cdot V^2 \cdot R^3$ , Нм - аэродинамический момент;

$\omega$  - частота вращения ротора, рад/с;

$\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$C_m(z, \varphi_i)$  - коэффициент момента (функция от двух переменных быстротечности  $z$  и угла установки лопасти  $\varphi$  для ветротурбин с жестким креплением лопастей).

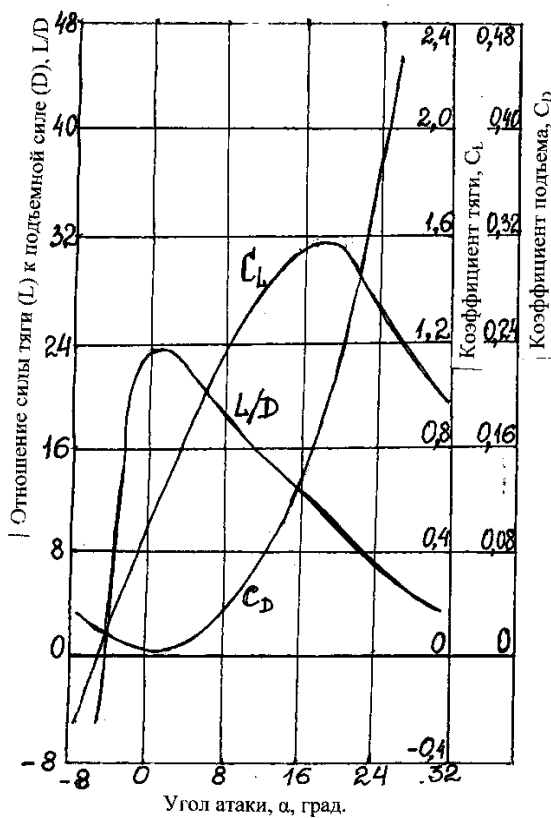


Рис. 1. Коэффициент тяги  $C_L$ , коэффициент подъема  $C_D$ , и отношение силы тяги к подъемной силе,  $(L/D)$ , для различных значений угла атаки  $\alpha$ .

Другая важная характеристика расположения крыла - его угол поворота к оси действия ветра. Это угол атаки, при котором следует использовать угол установки плоскости сечения крыла. Изменение происходит, когда поток внезапно меняет направление и проходит с другой стороны относительно поверхности крыла (когда угол атаки становится слишком крутым), это приводит к существенному снижению величины подъемной силы и увеличению силы тяги. Когда это случается во время полета самолета, это может быть чрезвычайно опасным, если пилот не сможет внести изменения в управление самолетом. Один из методов, используемых для ветрогенераторов при регулировании вырабатываемой мощности, чтобы ограничить ее величину при сильных ветрах, основывается именно на этом явлении.

Для ветрогенераторов с мягким креплением оси, т.е. с осью ротора, способной постоянно ориентироваться по направлению дуновения ветра для получения постоянной относительной скорости ветра и постоянной частоты вращения, угол атаки устанавливается такой, чтобы частота вращения была постоянной.

Ветрогенераторы с жесткозакрепленной осью вращения при изменении условий (угла атаки воздуха) для обеспечения постоянной частоты вращения разворачивают всю ось вращения. В течение периода нормальной работы ветрогенератора с горизонтальной осью лопасти ветротурбины устанавливаются так, чтобы угол атаки оставался положительным.

Величина и направление тяговой силы изменяется в связи с изменением относительного угла ветра  $\theta$  и величины радиуса  $r$  вдоль оси лопасти ветротурбины. Так как тангенциальная скорость  $u$  уменьшается по направлению к центру вращения, то относительный угол падения ветра  $\theta$  резко возрастает. Важна геометрия крыла. Несимметричные формы крыльев оптимизированы для создания наибольшей подъемной силы, при которой нижняя сторона крыла наиболее близка к траектории движения воздуха. Крылья симметричной формы могут одинаково хорошо создавать подъемную силу при любом направлении обтекания их воздухом.

Совершенствование аэродинамики ветротурбин, внедрение новых материалов, изучение и учет при проектировании усталостных явлений в ветротурбинах, оптимизация преобразовательных систем и систем регулирования позволяет существенно повысить надежность и эффективность ВЭУ, работающих параллельно с сетью и приблизить стоимость вырабатываемой ими электроэнергии к стоимости энергии, производимой на тепловых электростанциях, в том числе и АЭС.